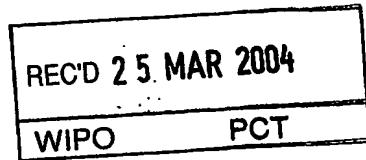


05.3.2004

日本特許庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 3月19日
Date of Application:

出願番号 特願2003-075930
Application Number:

[ST. 10/C] : [JP2003-075930]

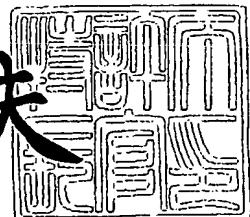
出願人 新日本製鐵株式会社
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 2月12日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 1033518
【提出日】 平成15年 3月19日
【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿
【国際特許分類】 C21D 8/12
H01F 1/16
【発明者】
【住所又は居所】 千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社 技術
開発本部内
【氏名】 坂井 辰彦
【発明者】
【住所又は居所】 千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社 技術
開発本部内
【氏名】 濱村 秀行
【発明者】
【住所又は居所】 千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社 技術
開発本部内
【氏名】 浜田 直也
【特許出願人】
【識別番号】 000006655
【氏名又は名称】 新日本製鐵株式会社
【代理人】
【識別番号】 100077517
【弁理士】
【氏名又は名称】 石田 敬
【電話番号】 03-5470-1900

【選任した代理人】

【識別番号】 100092624

【弁理士】

【氏名又は名称】 鶴田 準一

【選任した代理人】

【識別番号】 100113918

【弁理士】

【氏名又は名称】 亀松 宏

【選任した代理人】

【識別番号】 100082898

【弁理士】

【氏名又は名称】 西山 雅也

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-275711

【出願日】 平成14年 9月20日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 036135

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0018106

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 連続発振レーザビームの走査照射により、鋼板の圧延方向に對して概垂直で、且つ概一定間隔で線状の環流磁区を形成して鉄損特性を改善した方向性電磁鋼板の製造方法において、ビーム伝搬方向に垂直な断面内のレーザ光強度分布が光軸中心近傍に最大強度を持つTEM₀₀モードであり、照射ビームの圧延方向集光径d [mm]、レーザビームの走査線速度V [mm/s]、レーザの平均出力P [W]が以下の範囲であることを特徴とする磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造方法。

$$0.005 \leq d \leq 0.05$$

$$0.001 \leq P/V \leq 0.005$$

【請求項2】 レーザ装置が連続発振ファイバーレーザであることを特徴とする請求項1記載の磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項3】 レーザビームの走査照射により、鋼板の圧延方向に對して概垂直で、且つ概一定間隔で線状の環流磁区を形成して鉄損特性を改善した方向性電磁鋼板において、レーザビーム照射痕およびまたは線状環流磁区の幅W₁が0.005≤W₁≤0.05mmであることを特徴とする磁気特性の優れた方向性電磁鋼板。

【請求項4】 レーザビーム照射痕およびまたは線状環流磁区の幅W₁が0.01≤W₁≤0.03mmであることを特徴とする請求項3記載の磁気特性の優れた方向性電磁鋼板。

【請求項5】 線状照射痕およびまたは線状環流磁区の圧延方向間隔P₁が2≤P₁≤10mmであることを特徴とする請求項3または4記載の磁気特性の優れた方向性電磁鋼板。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は磁気特性の優れた方向性電磁鋼板とその製造方法に係わる。

【0002】

【従来の技術】

圧延方向に磁化容易軸がそろった方向性電磁鋼板がトランス鉄芯材料として用いられている。方向性電磁鋼板の製造方法として、特許文献1に方向性電磁鋼板の製造方法として、パルスレーザ照射により圧延方向にはほぼ垂直に、且つ圧延方向に周期的な線状の歪みを導入し、鉄損を低減する方法が開示されている。この方法の原理は、レーザビームの走査照射による表面歪みを起因として形成される環流磁区により 180° 磁壁間隔が細分化され、特に異常渦電流損が低減されるというものであり、磁区制御と呼ばれる。

【0003】

従来、この技術には様々な方法が開示されており、例えば、特許文献2にはパルス発振CO₂レーザを用いる方法、また、特許文献3には連続発振YAGレーザを用いて、照射ビーム径、パワー、走査速度等を規定した方法等がある。これらの方
法では照射条件をある特定の範囲に限定することで鉄損改善効果が向上することが開示され、現在実用に供されている。しかし、トランス鉄芯の鉄損低減に対するニーズは高く、更に鉄損の低い電磁鋼板を高効率で製造する方法が望まれていた。

【0004】

鉄損は主に古典的渦電流損、異常渦電流損、およびヒステリシス損の合計である。古典的渦電流損は板厚によって決まる損失であり、レーザ磁区制御によって変化する損失は異常渦電流損とヒステリシス損である。レーザ磁区制御により付与された還流磁区は 180° 磁壁間隔を細分化して異常渦電流損を低減させるが、一方でヒステリシス損を増加させる要因となる。よって圧延方向にはできるだけ狭い環流磁区を形成する方がヒステリシス損の増加が少なく、トータルの鉄損は低くなる。しかし、環流磁区が狭すぎると磁区細分化効果は小さくなり、その結果、特許文献3に記述されるように、照射ビーム径が0.04mm以下では走査線速度、レーザパワーを調整しても優れた鉄損改善効果が得られないという問題があつた。

【0005】

【特許文献1】

特公昭58-26405号公報

【特許文献2】

特開平06-57333号公報

【特許文献3】

特公平06-19112号公報

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の課題は、極小集光されたレーザビームの走査照射により、極力鉄損の低い方向性電磁鋼板を製造する方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明は、連続発振レーザビームの走査照射により、鋼板の圧延方向に対して概垂直で、且つ概一定間隔で線状の環流磁区を形成して鉄損特性を改善した方向性電磁鋼板の製造方法において、ビーム伝搬方向に垂直な断面内のレーザ光強度分布が光軸中心近傍に最大強度を持つTEM₀₀モードであり、照射ビームの圧延方向集光径 d [mm]、レーザビームの走査線速度V [mm/s]、レーザの平均出力P [W] が以下の範囲であることを特徴とする磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造方法である。

$$0.005 \leq d \leq 0.05$$

$$0.001 \leq P/V \leq 0.005$$

【0008】

また、本発明は、レーザ装置が連続発振ファイバーレーザであることを特徴とする上述の磁気特性の優れた方向性電磁鋼板の製造方法である。

また、本発明は、レーザビームの走査照射により、鋼板の圧延方向に対して概垂直で、且つ概一定間隔で線状の環流磁区を形成して鉄損特性を改善した方向性電磁鋼板において、レーザビーム照射痕およびまたは線状環流磁区の幅W1が $0.005 \leq W1 \leq 0.05\text{mm}$ であり、更に好ましくはW1が $0.01 \leq W1 \leq 0.03\text{mm}$ であることを特徴とする磁気特性の優れた方向性電磁鋼板である。

また、本発明は、線状照射痕およびまたは線状環流磁区の圧延方向間隔P1が 2

$\leq P_1 \leq 10\text{mm}$ であることを特徴とする磁気特性の優れた方向性電磁鋼板である。

【0009】

【発明の実施の形態】

以下に実施例を用いて、本発明の効果とその効果発現の理由を説明する。

【0010】

図2は本発明にかかるレーザビームの照射方法の説明図である。レーザビーム1は図示されないファイバーレーザ装置から出力される。ファイバーレーザは半導体レーザを励起起源としてファイバーコア自身が発光するレーザ装置であり、発振ビーム径はファイバーコア径により規制されている。

【0011】

ところでレーザ共振器から出力されるレーザビームは波長、媒質の直径、共振器ミラーの曲率等で決定される種々の強度分布を持つビームモードの重ね合わせである。これらの各モードは次数の異なるガウスモードで表され、共振器内での発振可能なビーム断面が大きい程、高次のモードまで発振する。一般のYAGレーザ等はこれらの複数のモードが同時に発振し得るため、マルチモードビームと呼ばれる。図4に典型的なマルチモードビームの強度分布を示す。

【0012】

一方、ファイバーレーザの場合、ファイバーコア直径を 0.01mm 以下にすることで、発振可能なモードが規制され、容易に最低次数での单一モード発振が可能である。このモードはほぼ基本ガウス分布に相当し、あるいは TEM_{00} モードと呼ばれる。 TEM_{00} モードは図3に示すように、光軸中心で最大強度を持つガウス分布であり、このビームを集光した場合、集光点でも同じ強度分布を持つ。

【0013】

ビームのモードを示す指標としては、一般にビーム品質ファクター M^2 が用いられており、 TEM_{00} モードの M^2 理論計算値は1.0であり、高次モードになるに従い M^2 は増加する。上述のファイバーレーザで得られるビームの M^2 は1.1以下であり、ほぼ理想的な TEM_{00} モードである。一般的マルチモードYAGレーザ等の M^2 値は20以上である。したがって、本発明に用いるレーザビームの TEM_{00} モードとは強度分布が略ガウス分布であるものを含み、 M^2 値としては2以下に相当する。

【0014】

本実施例ではファイバーレーザ装置から出力されるTEM₀₀モードのレーザビーム1を図2に示すように走査ミラー2とfθレンズ3を使用し、方向性電磁鋼板4に走査照射した。集光点でのビーム直径dは約0.05mmである。ビーム直径はレーザパワーの86%が含まれるビーム直径で定義される。ビームの走査線速度Vは3000～16000mm/sである。レーザパワーは32Wで固定した。また圧延方向の照射ピッチは5mmである。

【0015】

レーザ照射によって発生する歪みは鋼板表面への投入エネルギー密度に依存すると考えられることから、本発明者らは、ビームの走査照射法において投入エネルギー密度に比例するパラメータであるレーザパワーP (W=J/s) と走査速度V (mm/s) の比率P/V (J/mm) に注目した。図1は本実施例におけるP/Vと鉄損改善率との関係を調べた実験結果である。鉄損改善率ηはレーザ照射前後の鉄損値W_{17/50} (W/kg) から次式によって定義される。

【0016】

$$\eta = \{ (\text{レーザ照射前の} W_{17/50} - \text{レーザ照射後の} W_{17/50}) / \text{レーザ照射前の} W_{17/50} \} \times 100 \quad (\%)$$

ここでW_{17/50}は、磁界強度1.7T、周波数50Hzでの鉄損値である。本実施例で用いた方向性電磁鋼板サンプルの板厚は0.23mmであり、レーザ照射前のW_{17/50}の範囲は0.85～0.90W/kgである。

【0017】

図1よりTEM₀₀モード、集光直径dが0.05mmにおいて、P/Vが0.005J/mm以下の範囲、すなわち走査線速度Vが6000mm/sを越える高速走査条件にて鉄損改善率は増加し、10%を上回る高い値が得られることがわかった。一方、P/Vの値が0.005J/mm以上、走査速度6000mm/s以下の条件では鉄損改善率は大きく低下する。この条件での鋼板表面を詳細に観察したところ、レーザ照射部は溶融・再凝固していることが判明した。この再凝固部では過大な引っ張り応力が発生しているため、ヒステリシス損が著しく増大した結果と考えられる。

【0018】

従って、本発明の方法によれば、従来、レーザパワーや走査速度を調整しても鉄損特性が劣化していた0.05mm程度の極小集光ビーム径の領域でも、優れた鉄損特性が得られる。更に同等レベルの極小集光ビーム径を用いた従来技術（特公平06-19112号公報）で最適と開示されている条件よりも低いパワー範囲、あるいは高速の走査速度範囲で従来以上の鉄損改善率が得られるため、特性が優れるだけでなく、高効率で高速プロセスが実現可能である。

【0019】

本発明の方法にてこの様な優れた特性と効率が得られる理由は以下のように考察される。

【0020】

磁区制御の理想は圧延方向に狭い環流磁区でヒステリシス損の増加を抑制し、且つその狭い環流磁区に180° 磁区を十分細分化させ得る強度を持たせることにある。環流磁区の源はレーザ照射による歪みであるが、歪みは鋼板表面近傍の温度分布に起因し、特に到達すべき温度と温度勾配に依存すると本発明者らは考えた。更にレーザ照射部の温度の空間分布はレーザビームの空間強度分布が影響するを考えた。そこでビームモードを考慮して、連続波レーザを走査照射した場合の定常状態におけるレーザ照射部の温度分布を熱伝導シミュレーションにより推定した。ここでの計算パラメータはビームモード、レーザパワーP、走査線速度Vである。

【0021】

図5は本発明の条件に相当するTEM₀₀モード、集光径0.05mm、パワー32W、走査線速度8000mm/sでの温度分布計算結果である。尚、座標x、y、zは図2に示す座標に相当する。図6(a)は、走査線速度V=4000mm/s、P/V>0.005の条件での温度分布計算結果である。なお、他の条件は図5と同じである。また、図6(b)はこの実験条件にて得られた鋼板サンプルの断面観察写真である。図7はマルチモードの場合の計算結果であり、他の条件は図3と同じである。また図8は図5と図7の計算結果をビーム中心での深さ方向の温度変化を比較した結果である。

【0022】

図5と図7の比較、および図8より、集光径が同じでもTEM₀₀モードの場合はマルチモードの場合に比べ、等温線の間隔が狭く、温度分布の勾配が大きい。更に600°Cレベルの高温部の浸透深さも深く、ビーム中心近傍に高温部が集中していることが推測される。本発明者らの実験によると、レーザ磁区制御された鋼板を500°C以上の温度にて歪み取り焼鈍処理を行うと磁区制御効果が消失してしまうことがわかっている。従ってレーザ照射時には、この温度以上の温度履歴を経ることが必要と考えられ、この温度域の等温線が環流磁区形状に影響していると想定される。また温度勾配が急峻な程、歪み量は大きいことが考えられるので、TEM₀₀モードの場合、狭い領域に強い歪みが形成される。その結果、一般のマルチモードを使う場合に比べて、TEM₀₀モードを使用する本発明では、極小集光ビームでも、狭く、且つ深い空間に磁区細分化に十分な環流磁区強度が得られるため、理想的な磁区制御がはじめて可能になるものである。

【0023】

一方、パワーが増加、あるいは走査速度が低下すると、図6に示すように表面温度が鋼板の融点である1600°Cを越える箇所が発生する。この予測結果は実験により得られたサンプルの溶融断面と比較的よく一致しており、他の計算結果も合わせて、この温度分布の予測精度が高いことを示している。この様に溶融部が発生すると、前述したように溶融部の再凝固過程に大きな引っ張り応力が発生し、これが非常に広範囲な歪み、すなわち環流磁区を形成すると考えられる。その結果、ヒステリシス損が過大となり鉄損特性は劣化する。

【0024】

また、ビーム径が0.05mmより小さい範囲では、より局部的な熱分布となるため改善効果は高くなるが、表面溶融を避けるためには、P/Vを更に小さい範囲に抑制する必要がある。従って本発明の限定範囲である、 $d \leq 0.05\text{mm}$ 、かつ $P/V \leq 0.05\text{J/mm}$ で優れた特性が得られるものである。また $d > 0.05\text{mm}$ の範囲では環流磁区が太くなるため、ヒステリシス損の増加が比較的大きくなり、鉄損の改善効果は減少する。また $d < 0.005\text{mm}$ の範囲では環流磁区の幅は十分狭いものの、600°Cレベルの温度の熱浸透深さが浅くなるため、磁区細分化効果が減少する。従って本発明の方法における最適な d の範囲は $0.005 \leq d \leq 0.05\text{mm}$ である。更に $P/V <$

0.001J/mmの範囲では、先の最適なdの範囲においても鋼板への投入エネルギーが過小となり、環流磁区体積が激減するため鉄損は優れない。従ってP/Vの範囲は $0.001 \leq P/V \leq 0.005$ J/mmである。

【0025】

以上説明したように、レーザビームを極小集光する場合は、レーザビームのモードとパワーと走査速度条件を限定すれば、高い鉄損改善効果が得られることが発見された。またその優れた特性が得られるパワー、走査速度範囲は従来技術で限定された範囲では適当ではなく、より低パワー、高速域が最適である。

本発明の方法で得られた方向性電磁鋼板のレーザ照射部を顕微鏡および磁区観察用SEMで詳細に観察したところ、照射ビーム径dにはほぼ一致した照射痕と環流磁区幅W1が形成されていることが判明した。照射ビーム径dが0.015mmの場合の照射痕の顕微鏡観察写真を図9に示す。この様な細い照射痕または環流磁区幅を持つ方向性電磁鋼板の特徴を調べるために、従来の比較的太いビーム径のレーザビーム照射によって得られる鉄損改善率を比較した。

図10は照射ビームの圧延方向径dを0.010mmから0.200mmまで種々変化させて、鉄損改善率とP/Vの関係を調べた結果である。ここで圧延方向の照射ピッチP1は5mmである。これよりdが狭い、すなわち照射痕または環流磁区幅W1が狭い場合により低いP/Vで高い改善率が得られることが判明した。この傾向はW1が0.05mm以下で顕著である。これは先に記述したようにヒステリシス損の増加が抑制されている効果と考えられる。一方、0.01mm以下では改善率が減少傾向にあるが、これは環流磁区体積が激減するためヒステリシス損は増加しないものの、180°磁区幅を細分化する効果も減少するためである。図11は各W1での最高改善率をまとめた結果である。W1の範囲が0.005から0.05mmの範囲で高改善率が得られ、更に0.01から0.03mmの範囲が好ましい。

更に照射痕の圧延方向ピッチP1も改善率に影響することが判明した。図12はW1=0.015mmにてP/Vを0.0030に固定し、P1を2.0から10mmまで変化させた場合の改善率変化である。P1が2mm以下で狭すぎると各環流磁区によるヒステリシス損増加量は少ないものの、その総量が大幅に増加するため鉄損は劣化する。一方、P1が10mmを越えて広すぎると、180°磁区の細分化効果が減少するため、鉄損特

性はやはり劣化する。従ってP1の範囲は2mmから10mmの範囲が好ましい。

【0026】

また、本発明の方法には容易に高出力のTEM₀₀モードのレーザビームが得られるファイバーレーザが最適であるが、その他TEM₀₀に近似のモードが得られるレーザ装置であれば本発明に使用してもよい。

【0027】

更に、本発明の実施例ではビーム集光形状が直径dの円形の場合を示したが、前述の説明にもあるように、理想的な磁区制御のためには環流磁区の圧延方向幅が狭いことにあるため、圧延方向ビーム径dが本発明の範囲であるならば、ビーム走査方向径がdと異なってかまわない。例えばビーム走査方向のビーム径をdよりも長くした橢円ビームとしてもよく、その結果、鋼板の表面にレーザ照射痕が発生しない方法も本発明に含まれる。

【0028】

【発明の効果】

本発明により、高効率で非常に鉄損の低い方向性電磁鋼板を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

鉄損改善率のパワーと走査速度の比率パラメータ依存性である。

【図2】

本発明にかかるレーザ照射方法の説明図である。

【図3】

TEM₀₀モードの模式図である。

【図4】

マルチモードの模式図である。

【図5】

本発明の範囲内におけるTEM₀₀モードのビーム集光照射による鋼板表面近傍の温度分布計算結果である。

【図6】

(a) は、本発明の範囲外におけるTEM00モードのビーム集光照射による鋼板表面近傍の温度分布計算結果と実験サンプルの断面写真であり、(b) は本発明により得られた鋼板の断面観察写真である。

【図7】

マルチモードのビーム集光照射による鋼板表面近傍の温度分布計算結果である。

。

【図8】

図5、図7の温度分布計算結果をビーム中心での深さ方向の温度変化を比較した結果を示す図である。

【図9】

本発明の代表的な照射痕の表面写真である。

【図10】

鉄損改善率とP/Vの関係図である。

【図11】

照射痕幅W1と鉄損改善率の関係である。

【図12】

照射痕の圧延方向ピッチと鉄損改善率の関係である。

【符号の説明】

1 … レーザビーム

2 … 走査ミラー

3 … $f \theta$ レンズ

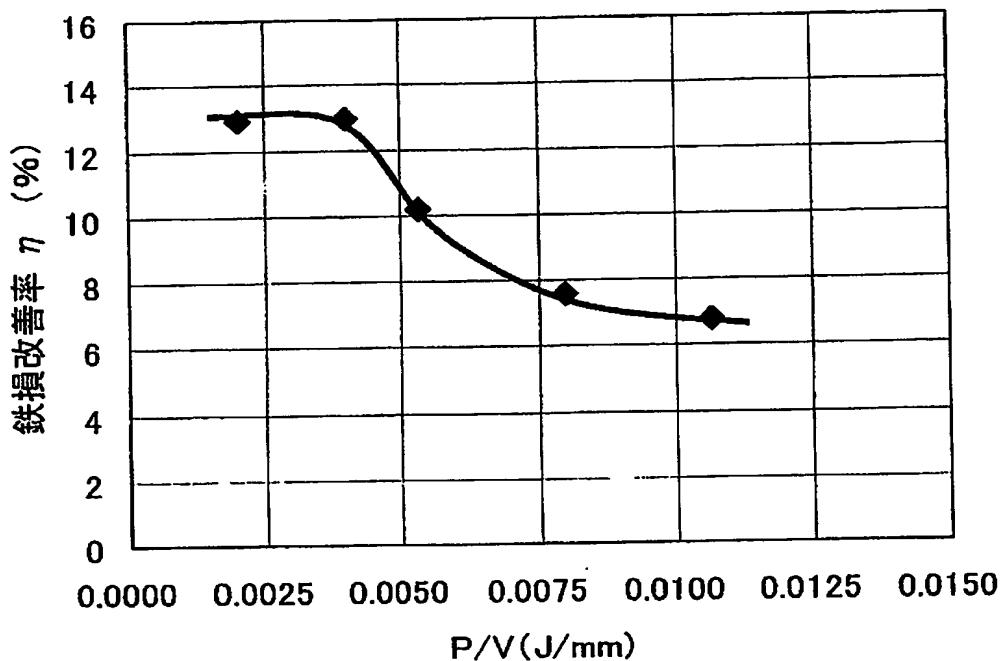
4 … 方向性電磁鋼板

【書類名】

図面

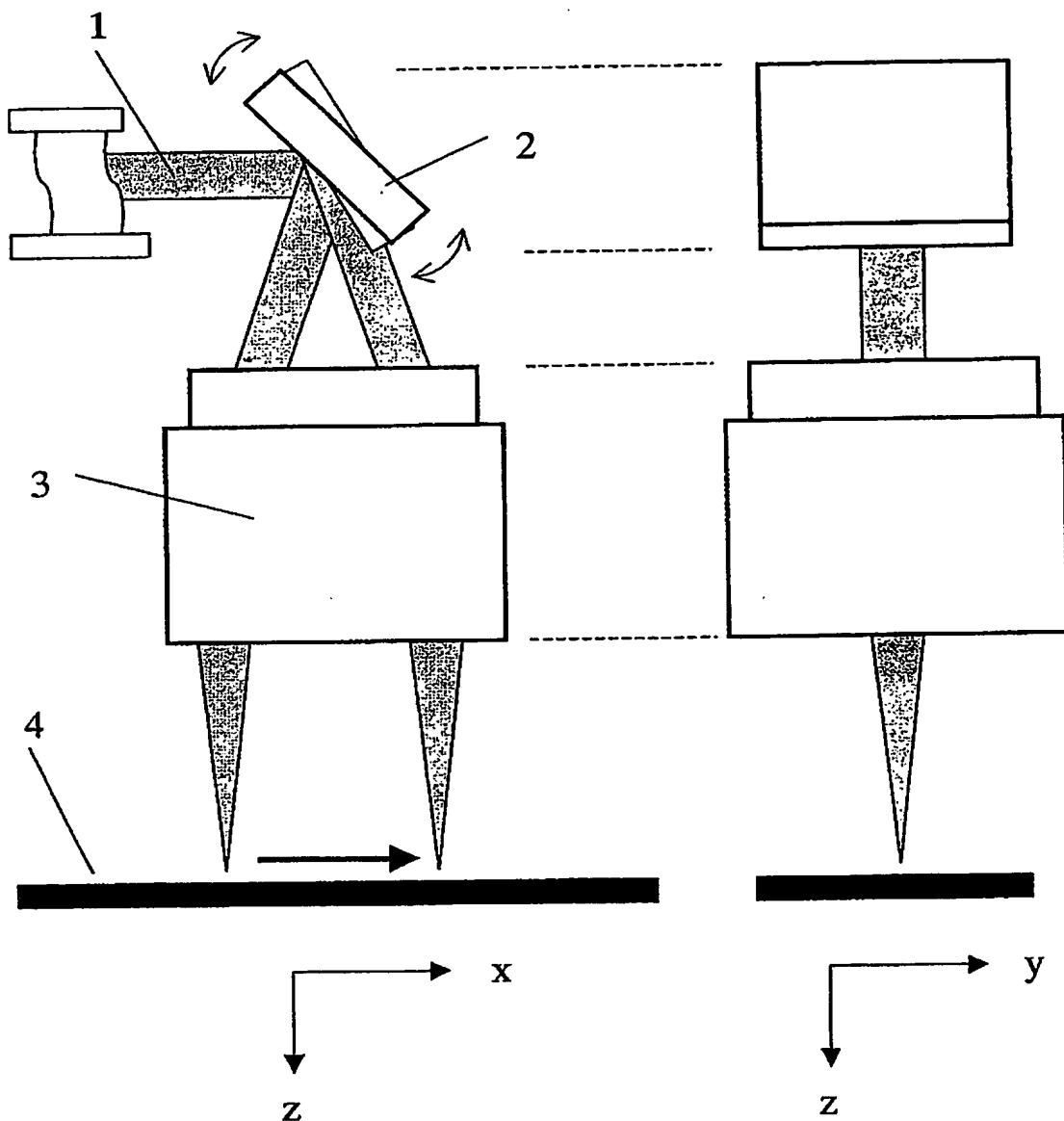
【図1】

図1



【図2】

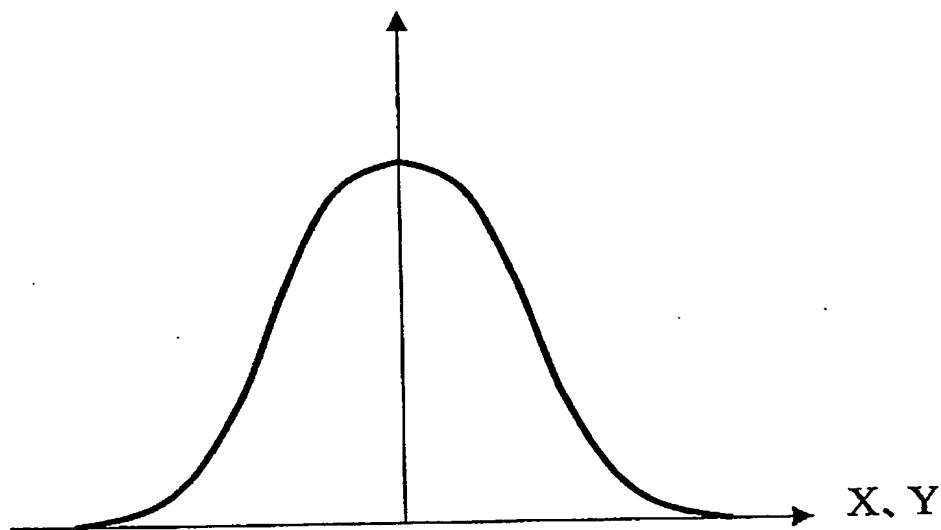
図2



【図3】

図3

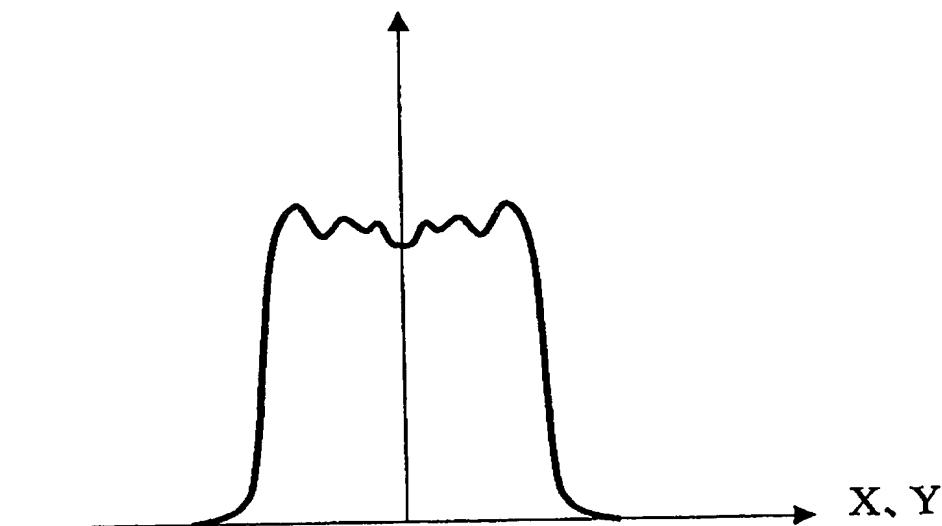
ビーム強度



【図4】

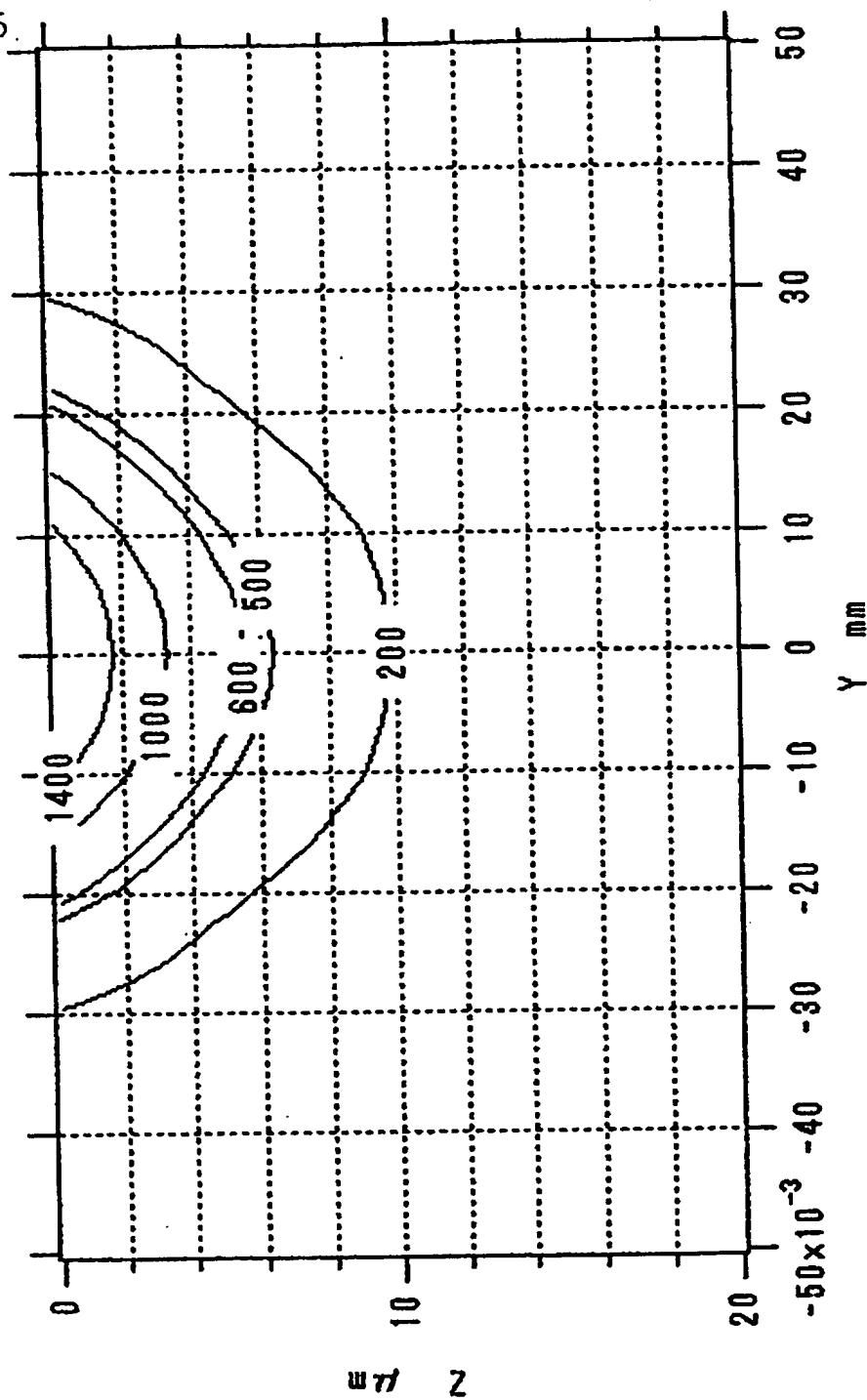
図4

ビーム強度



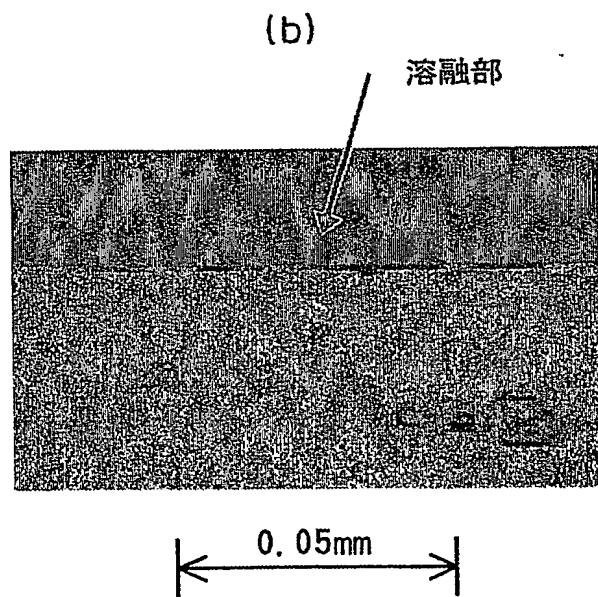
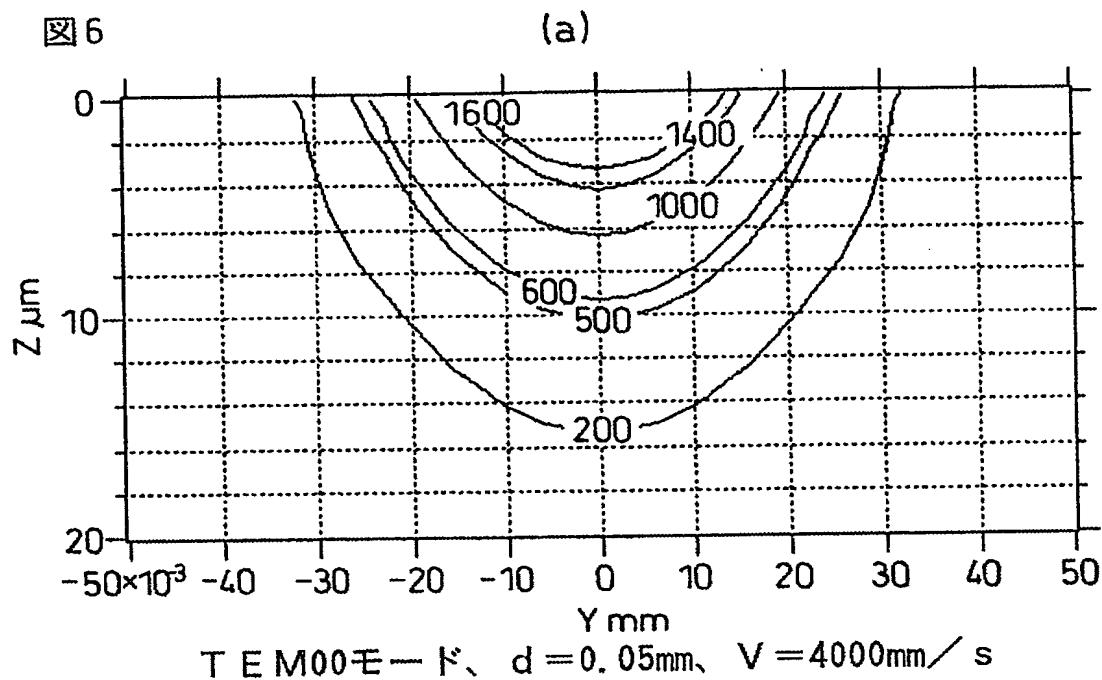
【図5】

図5

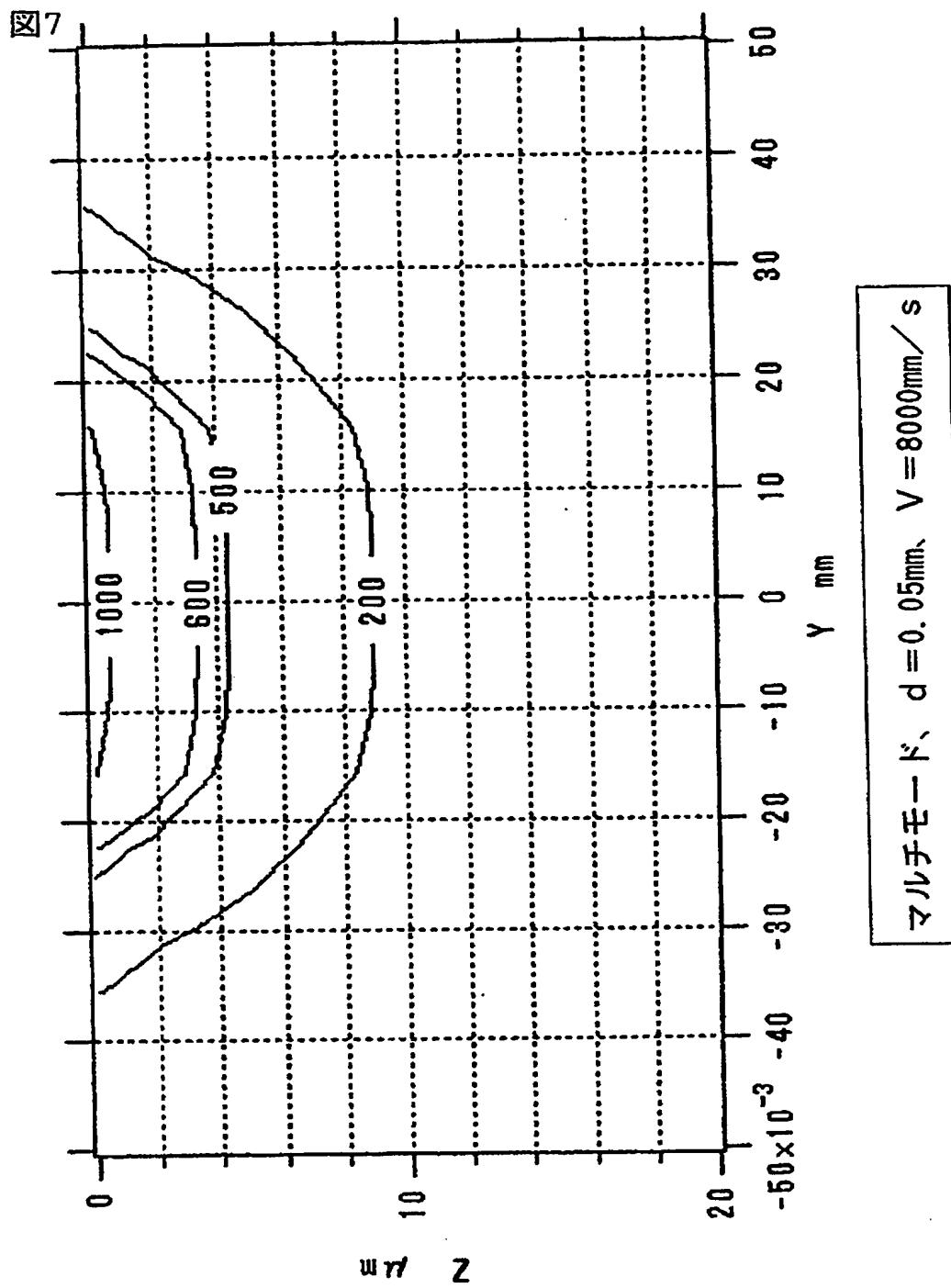


TEM00モード、 $d = 0.05\text{mm}$ 、 $V = 8000\text{mm/s}$

【図6】



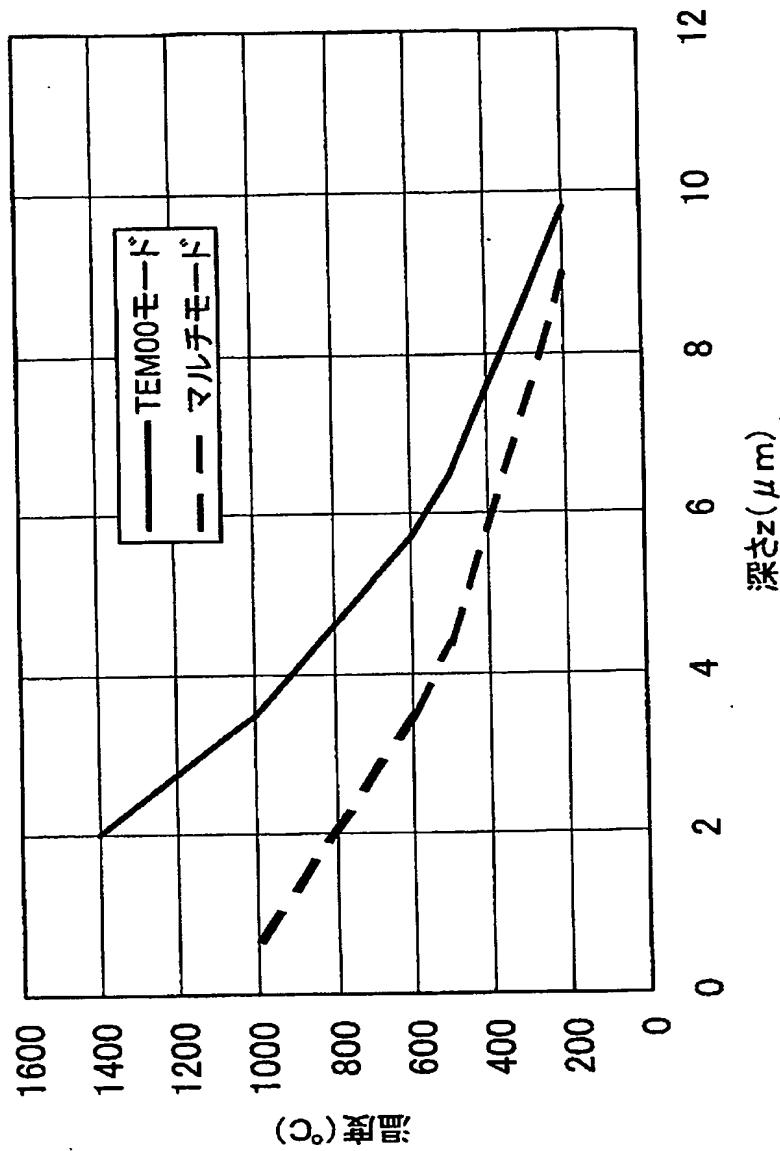
【図7】



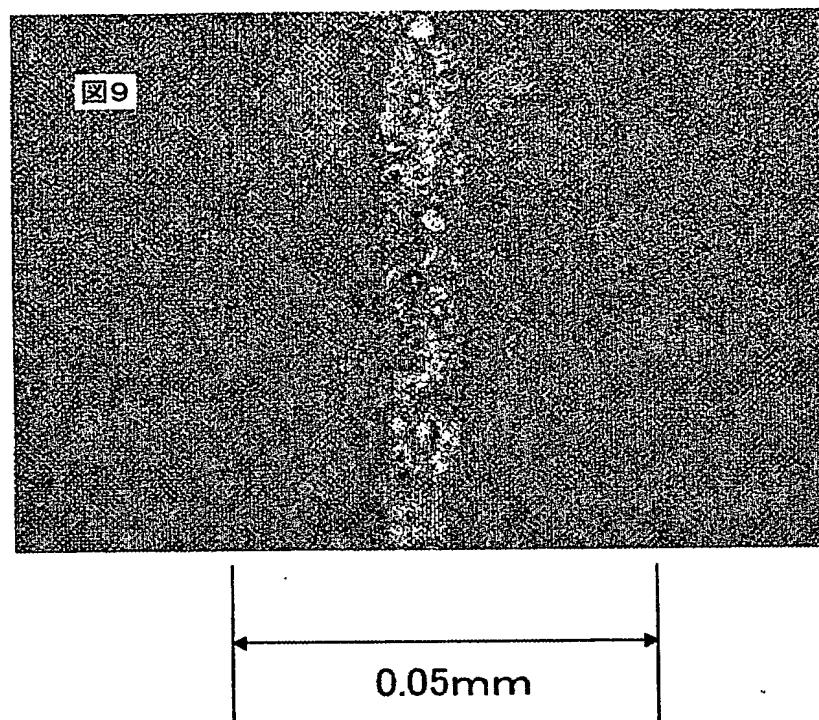
【図8】

図8

温度分布のモード依存性
 $d=0.05\text{mm}$ 、 $P=32\text{W}$ 、 $V=8000\text{mm/s}$

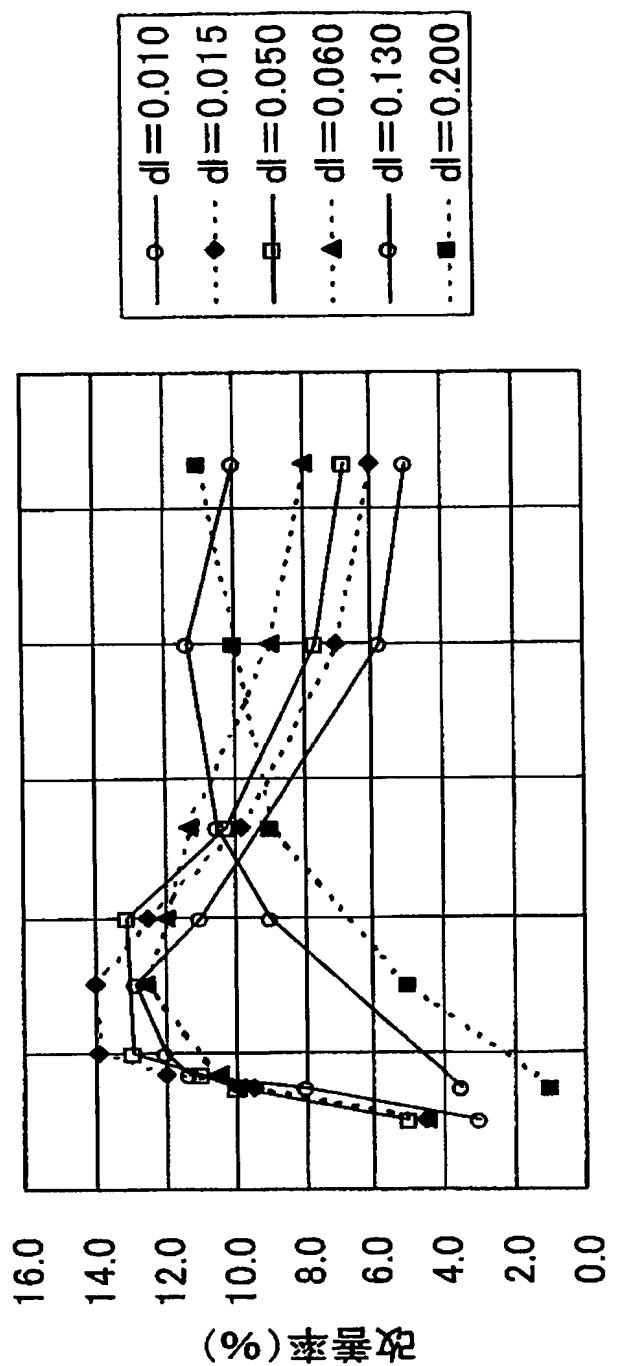


【図9】



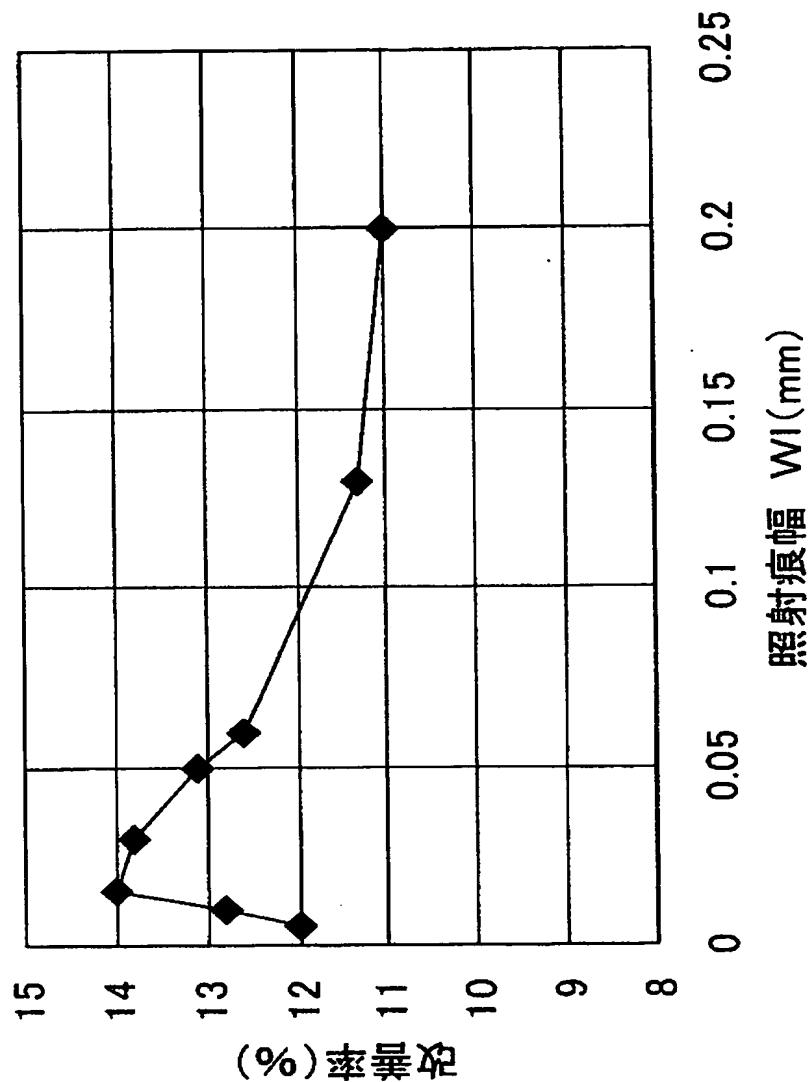
【図10】

図10



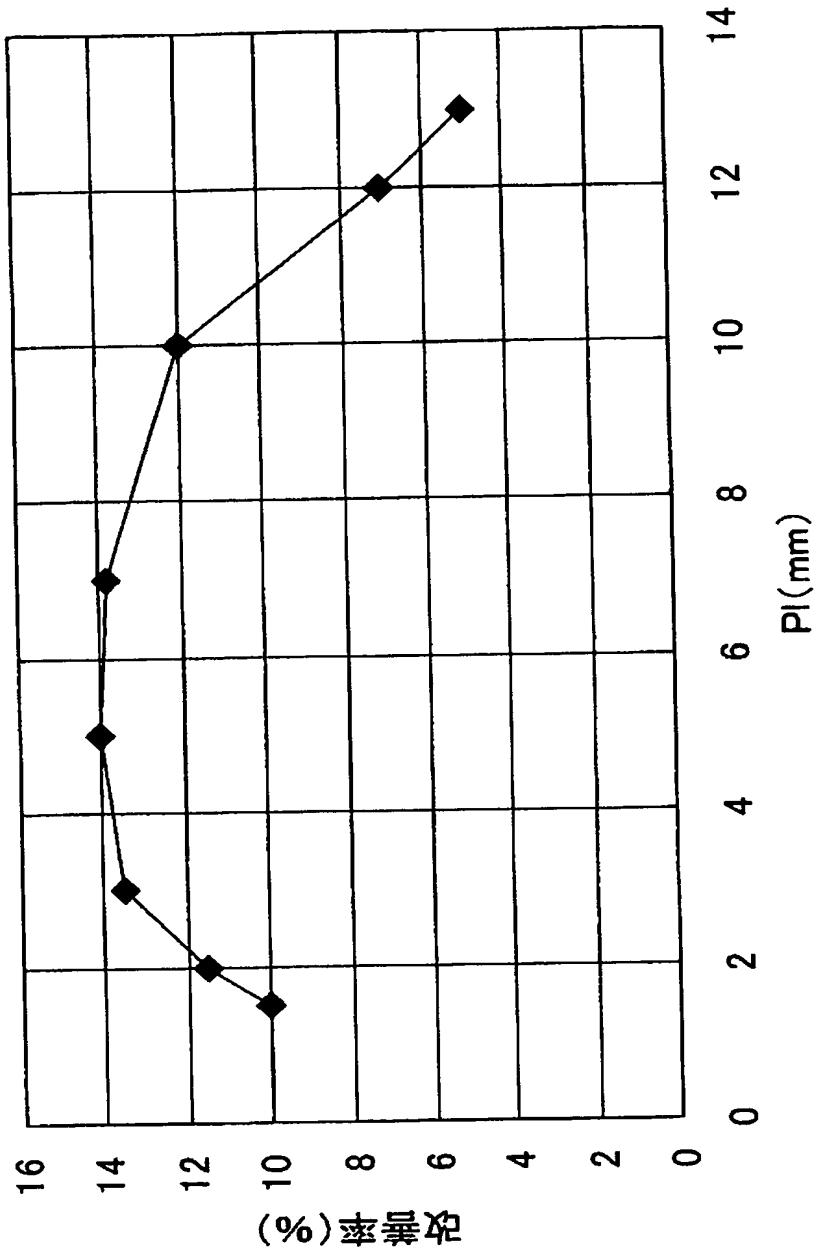
【図11】

図11



【図12】

図12



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明の課題は、極小集光されたレーザビームの走査照射により、極力鉄損の低い方向性電磁鋼板を提供する。

【解決手段】 TEM₀₀モードの連続発振ファイバーレーザを、鋼板の圧延方向に對して概垂直で、且つ概一定間隔で走査照射して磁気特性を改善する方向性電磁鋼板の製造方法であり、照射ビームの圧延方向集光径 d [mm] 、レーザビームの走査線速度 V [mm/s] 、レーザの平均出力 P [W] 、形成された照射痕幅または環流磁区幅 W₁ [mm] 、照射痕の圧延方向ピッチ P₁ [mm] が以下の範囲である。

$$0.005 \leq d \leq 0.05$$

$$0.001 \leq P/V \leq 0.005$$

$$0.005 \leq W_1 \leq 0.05$$

$$2 \leq P_1 \leq 10$$

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-075930
受付番号	50300451036
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成15年 3月25日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000006655
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町2丁目6番3号
【氏名又は名称】	新日本製鐵株式会社
【代理人】	申請人
【識別番号】	100077517
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門三丁目5番1号 虎ノ門37森 ビル 青和特許法律事務所
【氏名又は名称】	石田 敬

【選任した代理人】

【識別番号】	100092624
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門三丁目5番1号 虎ノ門37森 ビル 青和特許法律事務所
【氏名又は名称】	鶴田 準一

【選任した代理人】

【識別番号】	100113918
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門三丁目5番1号 虎ノ門37森 ビル 青和特許法律事務所
【氏名又は名称】	亀松 宏

【選任した代理人】

【識別番号】	100082898
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門三丁目5番1号 虎ノ門37森 ビル 青和特許法律事務所
【氏名又は名称】	西山 雅也

次頁無

特願 2003-075930

出願人履歴情報

識別番号 [000006655]

1. 変更年月日 1990年 8月10日

[変更理由] 新規登録

住所 東京都千代田区大手町2丁目6番3号
氏名 新日本製鐵株式会社